

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
10. Mai 2002 (10.05.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/37145 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G02B 5/18**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP01/12679

(22) Internationales Anmeldedatum:  
2. November 2001 (02.11.2001)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
100 54 503.3 3. November 2000 (03.11.2000) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **OVD KINEGRAM AG** [CH/CH]; Zählerweg 12,  
CH-6301 Zug (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **TOMPKIN, Wayne,  
Robert** [US/CH]; Oesterliwaldweg 2, CH-5400 Baden  
(CH). **STAUB, René** [CH/CH]; Schmiedstrasse 6,  
CH-6330 Cham (CH). **SCHILLING, Andreas** [DE/CH];  
Riedmatt 28A, CH-6300 Zug (CH).

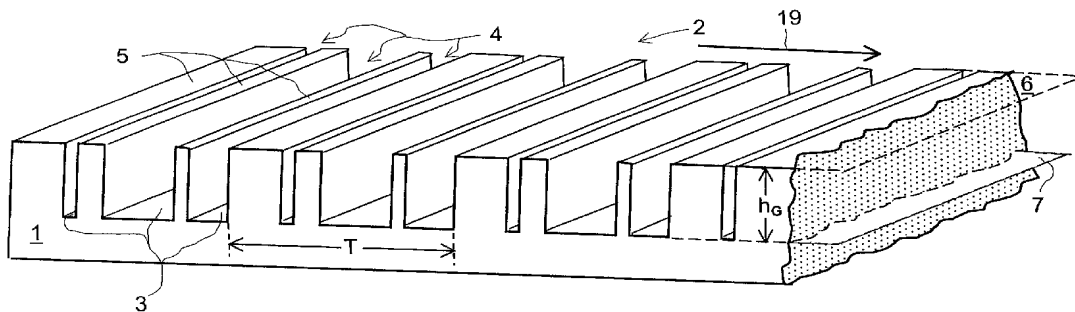
(74) Anwalt: **PÖHLAU, Claus**; Louis, Pöhlau, Lohrentz &  
Segeth, Postfach 33 05 55, 90014 Nürnberg (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR,  
CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH,  
GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC,  
LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW,  
MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: LIGHT-DIFFRACTING BINARY GRATING STRUCTURE

(54) Bezeichnung: LICHTBEUGENDE BINÄRE GITTERSTRUKTUR



(57) Abstract: A light-diffracting binary grating structure has a microscopic mesa structure (2) whose plateaux (5) are separated by troughs (4) with an essentially rectangular cross-section, the arrangement of the troughs (4) being repeated periodically. At least N troughs separate the plates (5) within one period (T) of the mesa structure (2), N being a whole number and being greater than 2. The mesa structure (2) is an additive superposition of N phase-displaced rectangular structures which have the same period (T) of the mesa structure (2). Each of the rectangular structures has a phase displacement, so that the plates (5) of one rectangular structure fall into the troughs (4) of the N-1 other rectangular structures. Additionally, the resulting mesa structure (2) only has a single trough between two plates (5), this trough having a width that is greater than one seventh of the period (T). The binary grating structures are suitable for use in optically diffractive security elements, since such binary grating structures cannot be copied with holographic means.

(57) Zusammenfassung: Eine lichtbeugende binäre Gitterstruktur weist eine mikroskopische Mesastruktur (2) auf, deren Hochebenen (5) durch Täler (4) mit einem im wesentlichen rechteckförmigen Querschnitt getrennt sind, wobei sich die Anordnung der Täler (4) periodisch wiederholt. Innerhalb einer Periode (T) der Mesastruktur (2) trennen wenigstens N Täler (4) die Hochebenen (5), wobei N eine ganze Zahl und grösser als 2 ist. Die Mesastruktur (2) ist eine additive Überlagerung von N phasenverschobenen Rechteckstrukturen, die dieselbe Periode (T) der Mesastruktur (2) aufweisen. Jede der Rechteckstrukturen besitzt eine Phasenverschiebung so, dass die Hochebenen (5) der einen Rechteckstruktur in die Täler (4) der N-1 andern Rechteckstrukturen fallen. Ausserdem besitzt die resultierende Mesastruktur (2) nur ein einziges Tal zwischen zwei Hochebenen (5), das eine Weite grösser als ein Siebtel der Periode (T) aufweist. Die binären Gitterstrukturen eignen sich für die Verwendung in optisch diffraktiven Sicherheitselementen, da die binären Gitterstrukturen mit holographischen Mitteln nicht zu kopieren sind.

WO 02/37145 A2



SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.

**(84) Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

5

### Lichtbeugende binäre Gitterstruktur

10

Die Erfindung bezieht sich auf eine lichtbeugende binäre Gitterstruktur und deren Verwendung in einem Sicherheitselement gemäss den Oberbegriffen der Ansprüche 1 und 10.

- 15 Solche Gitterstrukturen zeichnen sich durch eine hohe Beugungseffizienz und eine ausgeprägte Asymmetrie und Polarisierung des gebeugten Lichts aus und eignen sich für die als visuelle Sicherheitsmerkmale bekannten Flächenmuster aus einem Mosaik von mit diffraktiven Strukturen belegten Flächenelementen.

- Diese Sicherheitsmerkmale dienen als schwer zu fälschendes Echtheitsmerkmal für  
20 wertvolle Gegenstände, Dokumente, Ausweise, Banknoten usw. und sind z.B. in der EP 0 105 099 B1 beschrieben. Die Flächenelemente der Sicherheitsmerkmale weisen periodische diffraktive Gitterstrukturen mit vorbestimmten Gitterparametern, wie Profil, Spatialfrequenz und azimutale Orientierung usw., derart auf, dass sich der Anblick des beleuchteten Sicherheitsmerkmals beim Drehen und/oder Kippen in Farbe und Muster  
25 vorbestimmt ändert. Sind in benachbarten Flächenelementen entgegengesetzt ausgerichteten asymmetrischen Gitterstrukturen angeordnet, wie dies z.B. aus EP 0 360 969 A1 bekannt ist, vertauschen sich beim Drehen des Substrats um 180° die von einem Beobachter wahrgenommenen Intensitäten der Flächenelemente.

- Eine einfache binäre Gitterstruktur und deren Verwendung für ein Sicherheitsmerkmal  
30 zeigt die DE 32 06 062 A1. Die binäre Gitterstruktur weist als Profil eine Struktur auf, die einer einfachen periodischen Rechteckfunktion folgt. Das Tastverhältnis der Rechteckfunktion, d.h. das Verhältnis der Breite des Tales zur Länge der Periode der Rechteckstruktur, ist konstant und weist den Wert 50 % auf, damit das gebeugte Licht die grösste Farbsättigung erhält.

5 Eine Weiterentwicklung des Sicherheitsmerkmals mit binären Gitterstrukturen beschreibt die EP 0 712 012 A1. Ein Flächenelement des Sicherheitsmerkmals ist mit einer periodische Rechteckstruktur belegt. Ueber das Flächenelement hinweg ändert sich das Tastverhältnis der Rechteckfunktion kontinuierlich von einem maximalen zu einem minimalen Wert, so dass bei einer Beleuchtung des Flächenelements der Grad der  
10 Farbsättigung in einem Bereich innerhalb des Flächenelements ein Maximum erreicht. Weiter sind nicht periodische Rechteckstrukturen gezeigt, die mit willkürlich gewählten Abmessungen der Tiefe und der Breite zu einer Beugungsstruktur angeordnet sind, um die Fälschungssicherheit der Sicherheitselemente zu erhöhen. allerdings ist das resultierende Muster sehr komplex und von einem Beobachter schwer als das echte Sicherheitselement  
15 zu identifizieren.

Aus der US 4'846'552 ist ein Elektronenstrahl - Lithographie Verfahren zur Herstellung binärer Gitterstrukturen für fokussierende optische Elemente bekannt. Auch bei den einfachen Rechteckstrukturen mit dem Tastverhältnis 50 % lassen sich durch eine geschickte Wahl der Tiefe der Struktur, z.B. 25 % der Periodenlänge der Rechteckstruktur  
20 hohe Beugungswirkungsgrade für linear polarisiertes Licht erreichen. Die Wichtigkeit der binären Gitterstrukturen liegt in der Tatsache begründet, dass sie mit grosser Genauigkeit hergestellt und durch Abformen vervielfältigt werden können.

Die oben genannten einfachen Rechteckstrukturen lassen sich mit holographischen Mitteln kopieren, wobei bei einer Kopie der symmetrischen Rechteckstruktur mit dem  
25 Tastverhältnis von etwa 50 % nur eine geringe Einbusse des Beugungswirkungsgrades auftritt. Der Beugungswirkungsgrad der Kopie verschlechtert sich, je asymmetrischer die Rechteckstruktur ist. Ein Flächenelement mit der Rechteckstruktur, deren Tastverhältnis sich gemäss EP 0 712 012 A1 längs einer vorbestimmten Richtung kontinuierlich ändert, weist in der Kopie anstelle der sich ändernden Farbsättigung eine Veränderung der  
30 Intensität der gebeugten Farbe auf. Da eine sich ändernde Farbsättigung von einer sich ändernden Farbintensität ohne Referenz zu einem echten Sicherheitselement visuell schwierig zu unterscheiden ist, kann eine unautorisierte Kopie des Sicherheitselements nicht sofort erkannt werden.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine kostengünstig zu vervielfältigende  
35 Gitterstruktur zu schaffen, die sich für die Verwendung in optisch diffraktiven Sicherheitselementen eignet, die aufwendig zu erzeugen und schwer zu kopieren ist.

- 5 Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die in den Kennzeichen der Ansprüche 1 und 10 angegebenen Merkmale gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden im  
10 folgenden näher beschrieben.

Es zeigen:

- |    |             |  |
|----|-------------|--|
|    | Figur 1     | eine Ansicht auf eine binäre Gitterstruktur,           |
|    | Figur 2a-c  | Querschnitte durch ein Laminat mit der Gitterstruktur, |
|    | Figur 3a-c  | Rechteckstrukturen,                                    |
| 15 | Figur 4     | eine Mesastruktur,                                     |
|    | Figur 5a-c  | Beispiele der Mesastrukturen,                          |
|    | Figur 6a+b  | Flächenmuster mit der Mesastruktur nach Fig. 5a,       |
|    | Figur 7a-c  | die Flächenmuster mit der Mesastruktur nach Fig. 5b,   |
|    | Figur 8a-c  | die Flächenmuster der Figuren 7a-c um 180° gedreht,    |
| 20 | Figur 9a-c  | die Flächenmuster mit der Mesastruktur nach Fig. 5c,   |
|    | Figur 10a-c | die Flächenmuster der Figuren 9a-c um 180° gedreht,    |
|    | Figur 11    | eine andere Ausführung des Flächenmusters und          |
|    | Figur 12    | eine zweidimensionale Mesastruktur.                    |

Ein in der Figur 1 dargestellter Ausschnitt aus einer periodischen binären Gitterstruktur  
25 weist eine in ein flaches Substrat 1 abgeformte mikroskopisch feine Profilform einer Mesastruktur 2 auf. Von der Oberseite des Substrats 1 sind Talböden 3 von Tälern 4 abgesenkt. Sie unterteilen die Oberfläche in Hochebenen 5 der Mesastruktur 2, wobei die Täler 4 einen im wesentlichen rechteckigen Querschnitt aufweisen. Wenigstens drei Täler 4 und drei Hochebenen 5 bilden eine Periode T der Mesastruktur 2. Die Hochebenen 5  
30 liegen in der Ebene 6 der Oberfläche des Substrats 1. Die Talböden 3 definieren eine zur ersten Ebene 6 parallele, um eine Profilhöhe  $h_G$  von der Oberfläche des Substrats 1 abgesenkte zweite Ebene 7. Solche Gitterstrukturen mit nur zwei Ebenen 6, 7 werden

5 auch binäre Gitterstrukturen genannt. Die Täler 4 trennen die Hochebenen 5 derart, dass innerhalb der Periode T keine weitere Periodizität auftritt.

Die periodische binäre Gitterstruktur beugt elektromagnetische Strahlung. Für visuell zu beurteilende Sicherheitsmerkmale ist die Länge der Periode T und die Profilhöhe h der Gitterstruktur der Wellenlänge  $\lambda$  des sichtbaren Lichts anzupassen, dessen Spektrum der  
10 Wellenlängen  $\lambda$  sich im Bereich  $380 \text{ nm} < \lambda < 780 \text{ nm}$  erstreckt. Die Periode T weist beispielsweise einen Wert aus dem Bereich für T von 250 nm bis 5000 nm auf. Für "Zero Order" - Mikrostrukturen gilt die Bedingung  $\lambda/T \geq 1$ . Bei den "Zero Order" - Mikrostrukturen sind alle Beugungsordnungen ausser der nullten unterdrückt. Unter der Bedingung  $\lambda/T < 1$  hingegen wird das auf die binäre Gitterstruktur einfallende Licht auch  
15 in höhere Beugungsordnungen gebeugt. Diese Mikrostrukturen sind mit herkömmlichen holographischen Methoden nicht zu kopieren, wenn die Periode  $T \leq 2 \mu\text{m}$  ist.

Die Profilhöhe h der Täler 4 ist konstant. Die mikroskopische MESAstruktur 2 ist optisch wirksam und weist parallele gerade, mäanderförmige oder gekrümmten Täler 4 und Hochebenen 5 auf. Die MESAstruktur 2 ist als periodische Gitterstruktur durch ihre  
20 Parameter, einen Azimutwinkel  $\phi$  relativ zu einer ausgezeichneten Richtung, der Periode T bzw. Spatialfrequenz  $f = 1/T$ , eine Profilform der MESAstruktur 2, eine Profilhöhe h beschrieben. Die geometrische Profilhöhe  $h_G$  innerhalb der MESAstruktur 2 ist nicht mit der optisch wirksamen Profilhöhe h zu verwechseln. Füllt ein transparentes Material mit einem Brechungsindex  $n > 1$  die Täler 4 auf, wird als Profilhöhe h die mit dem Brechungsindex n  
25 multiplizierte geometrische Profilhöhe  $h_G$  optisch wirksam. Die optisch wirksame Profilhöhe h ist aus dem Bereich 25 nm bis 5000 nm gewählt, wobei Vorzugswerte der Profilhöhe h z.B. im unteren Bereich bis zu einem Viertel der Wellenlänge,  $\lambda/4$ , liegen. Weist das hier dargestellte Substrat 1 die negative Profilform der MESAstruktur 2 auf, eignet sich das Substrat 1 zum Abformen der MESAstruktur 2 in Kunststoff oder zum  
30 Prägen von sehr weichem Metall (Ag, Al, Au, Cu usw.). Dies erlaubt eine kostengünstige Vervielfältigung der MESAstruktur 2. Härtere Metalle, wie Stahl, Kupfer-Nickel Legierung für Münzen usw., sind durch ein an sich bekanntes, Metall abtragendes Verfahren zu strukturieren.

Die Figuren 2a bis 2c zeigen Querschnitte durch verschiedene Lamine 8 eines  
35 Sicherheitselementes mit der MESAstruktur 2. In der Figur 2a ist die MESAstruktur 2 in eine Basisfolie 9 aus glasklarem oder transparentem Kunststoff abgeformt. In einer

5 Verarbeitungsmethode ist die rohe Basisfolie 9 vor dem Abformen der MESAstruktur 2 einseitig mit einer wenigstens transparenten thermoplastischen Lackschicht 10 überzogen. In die Lackschicht 10 wird die MESAstruktur 2 abgeformt. In einer kostengünstigen Ausführung ist die Lackschicht 10 bereits vor dem Abformen mit einer metallischen oder dielektrischen Reflexionsschicht 11 abgedeckt. Bei einer anderen Abformmethode ist die  
10 Basisschicht 9 mit der mittels ultraviolettem Licht härtbaren, transparenten Lackschicht 10 überzogen. Die Matrice der MESAstruktur 2 wird während des Härtungsvorgang in die noch weiche, noch leicht verformbare Lackschicht 10 abgeformt. Bei beiden Methoden ist die Dicke der Lackschicht 10 grösser als die Profilhöhe  $h_G$  (Fig. 1). Falls die Basisschicht 9 nur als Träger für die Lackschicht 10 dient, um ein sehr dünnes Laminat 8 herzustellen, ist  
15 zwischen der Basisfolie 9 und der Lackschicht 10 eine durch die gestrichelte Linie 12 in der Darstellung der Figur 2a angedeutete Trennschicht ausgebildet. Die Trennschicht ermöglicht nach dem Aufbringen des Sicherheitselementes auf eine Unterlage das Entfernen der Basisfolie 9. Nach dem Härten wird die metallische oder dielektrische Reflexionsschicht 11 aufgebracht. Der durch die Reflexionsschicht 11 erzeugte Sprung im  
20 Brechungsindex  $n$  macht eine Grenzfläche 14 mit der MESAstruktur 2 optisch wirksam. Auf die Abformseite wird anschliessend eine die Täler verfüllende Schutzschicht 13 aufgetragen. Die freie Oberfläche der Schutzschicht 13 wird anschliessend mit einer Klebeschicht 15 ausgerüstet oder das Material der Schutzschicht 13 ist selbst ein Kleber. Das Sicherheitselement ist durch die über der MESAstruktur 2 angeordneten Schichten 9, 10  
25 hindurch sichtbar. Sind sowohl die Reflexionsschicht 11, die Schutzschicht 13 und die allfällige Kleberschicht 15 transparent, ist das Sicherheitselement transparent und eignet sich zum Schützen von individuellen Indicia auf einem Dokument. Die Indicia bleiben durch das auf das Dokument aufgeklebte Sicherheitselement hindurch sichtbar.

Das transparente Material ist optisch klar und lässt das ganze Spektrum des sichtbare  
30 Lichts (= glasklares Material) oder nur gewisse Spektralbereiche desselben (= farbiges Material) durch.

Das Laminat 8 in der Figur 2b zeigt eine weitere Anordnung der Deckschicht 16 und einer Basisschicht 17, deren gemeinsame Grenzfläche 14 die MESAstruktur 2 (Fig. 1) definiert. Die Materialien der beiden Schichten 16, 17 unterscheiden sich in ihren Brechungs-  
35 indices  $n_1$ ,  $n_2$  und bewirken ebenfalls einen die MESAstruktur 2 definierenden Sprung  $\Delta n$  im Brechungsindex. Damit die MESAstruktur 2 optisch wirksam und gebeugtes Licht visuell

5   erkennbar ist, muss an der gemeinsamen Grenzfläche 14 der Sprung  $\Delta n = |n_1 - n_2| > 0.1$  sein. Die beiden Schichten 16, 17 sind in einer Ausführung zwei transparente Kunststoffe. In einer anderen Ausführung ist die Basisschicht 17 das metallische Substrat 1 (Fig. 1), das mit der transparenten, die Täler 4 verfüllenden Deckschicht 16 aus Kunststoff ausgerüstet ist.

10   In der Ausführung links in der Figur 2b überdeckt die Kunststoffschicht 16 auch die Hochebenen 5, während in der Ausführung rechts die Kunststoffschicht 16 nur gerade die Täler 4 verfüllt. Die gemeinsame, die MESAstruktur 2 (Fig. 1) definierende Grenzfläche 14 zwischen der Metalloberfläche des Substrats 1 und der Kunststoffschicht weist eine hohe Beugungseffizienz E auf. Eine Anwendung der rechts gezeigten Ausführung des Laminats  
15   8 ist die Schicht 17 eine Kupfer-Nickel-Legierung, wie sie zum Beispiel für Münzen verwendet werden, in deren Oberfläche die MESAstruktur 2 durch Materialabtrag, z.B. mittels Ätzen oder intensivem Laserlicht, eingearbeitet ist.

Fabrikatorisch bedingt, weisen die Querschnitte der Täler 4 kleine Abweichungen von der idealen Rechteckform auf. Die Figur 2c zeigt einen Ausschnitt des Laminats 8 (Fig. 2a).

20   Die durch die Grenzfläche 14 zwischen den Schichten 16, 17 definierten Seitenwände 18 der Täler 4 sind derart V-förmig geneigt, dass die Täler 4 trapezförmige Querschnitte aufweisen. Zudem sind die Kanten mit grosser Wahrscheinlichkeit verrundet, was aus zeichnerischen Gründen in der Figur 2c nicht dargestellt ist. Im Gegensatz zur Darstellung in der Figur 2c sind die Abweichung von den reinen Rechteckformen der MESAstruktur 2  
25   so klein, dass die Querschnitte als im wesentlichen rechteckförmig zu betrachten sind.

Die MESAstruktur 2 in der Figur 1 wird durch eine Rechteckfunktion  $M(x)$  (Fig. 4) längs eines Weges  $x$  in der Richtung eines Pfeils 19, der parallel zur Ebene 6 und senkrecht zu den Tälern 4 gerichtet ist, beschrieben.

Die Figuren 3a bis 3c und 4 zeigen als Beispiel die periodischen Rechteckfunktionen  
30    $R1(x)$ ,  $R2(x')$ ,  $R3(x'')$  und  $M(x)$ , die über zwei aufeinander folgenden Perioden  $T$  längs des Weges  $x$ ,  $x'$  oder  $x''$  dargestellt sind. Die Rechteckfunktion  $M(x)$  entsteht aus einer additiven Überlagerung von wenigstens drei phasenverschobenen Rechteckstrukturen  $R1(x)$ ,  $R2(x')$ ,  $R3(x'')$  mit der Periode  $T$  der MESAstruktur 2. Die  $N$  Rechteckstrukturen  $R1(x)$ ,  $R2(x')$ ,  $R3(x'')$  erhalten bei der Summierung zu  $M(x)$  gegeneinander eine  
35   Phasenverschiebung  $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots$  derart, dass die Hochebene 5 der einen Rechteckstruktur



- 5 in die Täler 4 der N-1 anderen Rechteckstrukturen fallen. Diese Bedingung sichert der Summenfunktion  $M(x)$  die binäre Gitterstruktur.

In der Figur 4 ist die periodische Rechteckfunktion  $M(x)$  die Summe der  $N = 3$  Rechteckfunktionen, die in den Figuren 3a bis 3c dargestellt sind. Die Rechteckfunktion  $R_1$  weist in diesem Beispiel eine Phasenverschiebung  $\phi_1 = 0^\circ$  auf, daher ist die Summe

10  $M(x) = R_1(x) + R_2(x+\phi_2) + R_3(x+\phi_3).$

Das Verhältnis der Impulsbreite  $t$  der Rechteckimpulse  $R$  zur Periodenlänge  $T$  heisst Tastverhältnis  $t/T$ . Wenigstens eine Rechteckfunktion  $R$  weist ein Tastverhältnis von höchstens 6 % auf, beispielsweise die Rechteckfunktion  $R_3(x)$  in der Darstellung der Figur 3c. In einer Ausführung ist diese kleinste Impulsbreite  $t$  der Mesastruktur 2

- 15 höchstens ein Fünftel der Wellenlänge  $\lambda$  des einfallenden sichtbaren Lichts.

Die Phasenverschiebungen  $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots$  und die Impulsbreiten  $t_1, t_2, t_3 \dots$  sind so bestimmt, dass einerseits in der resultierenden Rechteckfunktion  $M(x)$  der Mesastruktur 2 nur ein einziges Tal 4 zwischen zwei Hochebenen 5 eine grösste Weite  $w$  grösser als ein Siebtel der Periode  $T$  aufweist. Andererseits misst wenigstens ein Tal 4 eine kleinste Weite

20  $w$  von höchstens einem Fünftel der Wellenlänge  $\lambda$ . Parameter, wie Anzahl  $N$ , die Periode  $T$ , die Profilhöhe  $h$ , die Phasenverschiebung  $\phi$  und die Impulsbreite  $t$ , bestimmen die Mesastruktur 2.

- Eine kleinste Strukturbreite der Mesastruktur 2 ist, fabrikatorisch bedingt, nicht zu unterschreiten. Mit der kleinsten Strukturbreite ist der kleinste der Werte der in der
- 25 Mesastruktur 2 angeordneten Impulsbreiten  $t$  und Weiten  $w$  bezeichnet. Die kleinste fabrikatorisch beherrschbare Strukturbreite hängt von der geometrischen Profilhöhe  $h_G$  ab, da ein Abformen der kleinsten Strukturbreite von mehr als der Hälfte der geometrischen Profilhöhe  $h_G$  grosse fabrikatorische Abformungsschwierigkeiten bereitet. Die heute technisch erreichbare kleinste Strukturbreite beträgt etwa 50 nm bei einer geometrischen
- 30 Profilhöhe  $h_G$  bis zu 100 nm.

Durch die oben erwähnten Bedingungen ist die Anzahl  $N$  der die Funktion  $M(x)$  bildenden Rechteckfunktionen  $R(x)$  nach oben durch die Periodenlänge  $T$  und der kleinsten Strukturbreite auf etwa 10 beschränkt, wobei bevorzugt  $N$  im Bereich 3 bis und mit 5 liegt.

- In einer Ausführung der Mesastruktur 2 mit der Periode  $T$  ist einerseits die Summe der
- 35 Impulsbreiten  $t$  aller Hochebenen 5 in der einen Halbperiode  $T/2$  grösser als die Summe

5 der Weiten  $w$  aller Täler 4 in der gleichen Halbperiode  $T/2$  und andererseits ist in der zweiten Halbperiode  $T/2$  die Summe der Impulsbreiten  $t$  aller Hochebenen 5 kleiner als die Summe der Weiten  $w$  aller Täler 4 der zweiten Halbperiode  $T/2$ . Jede Halbperiode  $T/2$  umfasst wenigstens ein Tal 4 und eine Hochebene 5. Eine solche Mesastruktur 2 weist ein asymmetrisches Beugungsverhalten auf und lenkt das einfallende Licht asymmetrisch in  
10 die verschiedenen Beugungsordnungen ab. Der asymmetrischen Mesastruktur 2 ist eine ausgezeichnete Richtung (Gittervektor) zugeordnet, die durch einen in der Ebene 6 gelegenen, senkrecht zu den Tälern 4 gezeichneten Pfeil 19 (Fig. 1) markiert ist.

Die oben beschriebenen Mesastrukturen 2 weisen mikroskopische und submikroskopische Strukturen auf, d.h. Strukturbreiten kleiner als die Wellenlänge  $\lambda$  des Lichtes. Die

15 Skalartheorie kann für solche Strukturen nicht einmal mehr qualitativ das Beugungsverhalten der submikroskopischen Mesastruktur 2 beschreiben. Nur eine Anwendung der exakten elektromagnetischen Theorie und genaue Berechnungen, wie sie z.B. im Buch "Electromagnetic Theory of Gratings" von R. Petit, Herausgeber, Springer-Verlag, Heidelberg 1980 enthalten sind, vermögen mit einem grossen  
20 Rechenaufwand das Beugungsverhalten der Mesastrukturen 2 mit submikroskopischen Strukturen zu beschreiben. Die Skalartheorie versagt, weil das Verhalten des Lichts für die TE- und TM- polarisierten elektromagnetischen Wellen beim Einfall auf die binäre Gitterstruktur völlig verschieden ist.

Im Falle der TE - Polarisation, bei der das elektrische Feld parallel zu den Tälern 4 der  
25 Mesastruktur 2 ausgerichtet ist, fliessen so starke Oberflächenströme in der Reflexionsschicht 11 (Fig. 2a) bzw. in der Grenzsicht 14 (Fig. 2b), dass die Mesastruktur 2 wie ein Spiegel wirkt. Heuristisch gesagt, dringt das Feld der TE - polarisierten Wellen nicht in die Täler 4 der Mesastruktur 2 ein und erfährt daher die Wirkung der Mesastruktur 2 nicht. Im Falle der TM - Polarisation, bei der das elektrische Feld senkrecht zu den  
30 Tälern 4, also in Richtung des Pfeils 19 (Fig. 1) der Mesastruktur 2 ausgerichtet ist, werden die Oberflächenströme in der Schicht 11 bzw. 14 nicht so leicht erzeugt. Das elektrische Feld der TM - Wellen kann daher in die Tiefe der Täler 4 vordringen und wird durch die Mesastruktur 2 so beeinflusst, dass die TM-Wellen gebeugt werden.

Die lichtbeugenden binären Gitterstrukturen, die als Profil die asymmetrischen  
35 Mesastrukturen 2 mit den submikroskopischen Strukturelementen aufweisen, zeigen bei der Beleuchtung mit senkrecht auf die Mesastrukturen 2 einfallendem Licht

- 5 aussergewöhnliche Beugungseigenschaften. Das einfallende Licht wird hauptsächlich in eine einzige Beugungsordnung gebeugt, während das gebeugte Licht in den übrigen Beugungsordnungen nur geringe, visuell kaum wahrnehmbare Intensitäten aufweist. In den Figuren 5a bis 5c sind als Beispiel die Rechteckfunktionen  $M(x)$  von drei Mesastrukturen 2 mit einer Periode von  $T = 2 \mu\text{m}$  über zwei Perioden  $T$  dargestellt. Auf der Abszisse ist die
- 10 Wegstrecke  $x$  in Mikrometer in Richtung des Pfeils 19 abgetragen, während auf der Ordinate die geometrische Profilhöhe  $h_G$  in Nanometer angegeben ist. Die binäre Gitterstrukturen sind in einem Laminat aus Kunststoff (Brechungsindex  $n \approx 1,5$ ) gemäss der Figur 2a eingebettet, wobei die Reflexionsschicht 11 (Fig. 2a) durch eine etwa 40 nm bis 70 nm dicken Schicht aus Aluminium gebildet ist, die die Mesastruktur 2 definiert. Für
- 15 Licht mit Wellenlängen im Bereich von  $\lambda = 435 \text{ nm}$  (blau) bis  $550 \text{ nm}$  (grün) sind die nachstehend beschriebenen Polarisations- und/oder Kontrasteffekte ausgeprägter als für längere Wellenlängen.

Die Prüfung auf den Einfluss der Polarisationsvermögens der Gitterstruktur erfolgt dadurch, dass, wie in der Figur 6a gezeigt, ein Polarisationsfilter 20 aus dem auf ein

20 Flächenmuster 21 einfallenden Licht 22 die unerwünschten, TE polarisierten bzw. TM polarisierten Wellen ausfiltert. Das Polarisationsfilter 20 ist mit der gleichen Wirkung auch zwischen der Gitterstruktur und dem Auge eines Beobachters anzuordnen, wobei das gebeugte Licht 23, 23', 24, 24' gefiltert wird.

Beispiel 1:

- 25 Die binäre Gitterstruktur in der Figur 5a weist das Profil der Mesastruktur 2 auf, deren beschreibende Funktion  $M(x)$  aus den  $N = 5$  Rechteckfunktionen  $R(x)$  der Tabelle 1 zusammengesetzt ist. Die ausgezeichnete Richtung der Gitterstruktur, der Gittervektor, ist durch den Pfeil 19 angedeutet.

Tabelle 1

Rechteckfunktion	Impulsbreite $t$	Phasenverschiebung $\phi$
$R1(x)$	75 nm	$45^\circ$
$R2(x)$	100 nm	$180^\circ$
$R3(x)$	125 nm	$216^\circ$

R4(x)	200 nm	238½°
R5(x)	200 nm	324°

5

Die Profilhöhe  $h_G$  beträgt 90 nm und die kleinste Strukturbreite beträgt 75 nm, wobei die kleinste Strukturbreite sowohl als Impulsbreite  $t = 75$  nm bei der Rechteckfunktion R1 als auch als Weite  $w = 75$  nm des Tales 4 (Fig. 1) zwischen den Rechteckfunktionen R3 und R4. Alle Impulsbreiten sind deutlich kleiner als die Wellenlängen des sichtbaren Lichts.

- 10 Die MESAstruktur 2 nach der Figur 5a beugt bei senkrecht einfallendem Licht ein Grossteil sowohl der TE polarisierten Wellen (= TE - Wellen) als auch der TM polarisierten Wellen (= TM - Wellen) in die minus erste Beugungsordnung. Die Intensität des in die minus erste Beugungsordnung gebeugten Lichts ist deutlich, wenigstens um einen Faktor 5, grösser als das in eine der übrigen Beugungsordnungen gebeugten Lichts senkrecht zu den Tälern 4 in
- 15 Richtung des Gittervektors.

Die Figur 6a zeigt das Flächenmuster 21, das beispielhaft aus zwei Flächenelementen 25, 26 besteht. Das rechteckige Hintergrundelement 25 ist mit der binären Gitterstruktur nach Figur 5 so belegt, dass ihre ausgezeichnete Richtung parallel zum Pfeil 19 ausgerichtet ist. Das dreieckige Innenelement 26 weist dieselbe binäre Gitterstruktur wie das

- 20 Hintergrundelement 25 auf, jedoch ist die ausgezeichnete Richtung der binären Gitterstruktur entgegengesetzt zum Pfeil 19 ausgerichtet. Fällt das Licht 22 senkrecht auf die Strukturen des Flächenmusters 21 ein, erblickt der Beobachter, der beispielsweise in die dem Pfeil 19 entgegengesetzte Richtung unter dem Beugungswinkel für die erste Beugungsordnung für die Wellenlänge  $\lambda = 435$  nm (blau) bis 550 nm (grün) schaut, ein im
- 25 gebeugten Licht 23 der minus ersten Beugungsordnung hell strahlendes, blaues bis grünes Hintergrundelement 25 mit einem im gebeugten Licht 24 der plus ersten Beugungsordnung schwach leuchtendes, blauen bis grünen Innenelement 26. Wird das Flächenmuster 21 in seiner Ebene um 180° gedreht, wie in der Figur 6b dargestellt ist, vertauschen sich im
- 30 Flächenmuster 21 die Intensitäten pro Flächeneinheit, die Flächenhelligkeiten, des Hintergrundelements 25 und des Innenelements 26, d.h. das Hintergrundelement 25 lenkt nun Licht 24' (Fig. 6a) der plus ersten Beugungsordnung zum Auge des Beobachters und erscheint daher dunkel und das nun im gebeugten Licht 23' (Fig. 6a) der minus ersten Beugungsordnung betrachtete Innenelement 26 scheint hell auf. Die Polarisation des Lichts

- 5 beeinflusst die beobachteten Intensitätsverhältnisse nicht, da sowohl die TE - als auch die TM - Wellen hauptsächlich in die minus erste Beugungsordnung abgelenkt werden. Verschieden dichte Rasterungen in den Zeichnungen verdeutlichen in den Figuren 6a bis 10c die Flächenhelligkeiten der beiden Elemente 25, 26 des beleuchteten Flächenmusters 21.

#### 10 Beispiel 2:

In der Figur 5b folgt das Profil der asymmetrischen MESAstruktur 2 (Fig. 5a) der beschreibenden Funktion  $M(x)$ , die sich als Summe der  $N = 5$  Rechteckfunktionen  $R(x)$  aus der Tabelle 2 ergibt.

- Die Profilhöhe  $h_G$  beträgt 150 nm, wobei die kleinste Strukturbreite 100 nm ist. Die  
 15 kleinste Strukturbreite findet sich sowohl als Impulsbreite  $t = 100$  nm bei den Rechteckfunktionen  $R1(x)$ ,  $R3(x)$  und  $R4(x)$  als auch als Weite  $w = 100$  nm des Tales 4 (Fig. 1) zwischen den Rechteckfunktionen  $R5(x)$  und  $R1(x+T)$  der folgenden Periode  $T$  (Fig. 5a) im Profil der MESAstruktur 2.

Tabelle 2

Rechteckfunktion	Impulsbreite $t$	Phasenverschiebung $\phi$
$R1(x)$	100 nm	$18^\circ$
$R2(x)$	150 nm	$58\frac{1}{2}^\circ$
$R3(x)$	100 nm	$117^\circ$
$R4(x)$	100 nm	$180^\circ$
$R5(x)$	550 nm	$261^\circ$

- 20 Die MESAstruktur 2 nach der Figur 5b beugt bei senkrecht einfallendem Licht ein Grossteil der TE - Wellen in eine einzige der minus bzw. plus Beugungsordnungen und praktisch kein Licht in die übrigen Beugungsordnungen. Die Beugungseffizienz  $E_{TE}$  in einer der übrigen Beugungsordnungen ist deutlich geringer (mindestens um einen Faktor 30) als beispielsweise die Beugungseffizienz  $E_{TE-1}$  des in die minus erste Beugungsordnung  
 25 gebeugten Lichts, d.h.  $E_{TE-1}/E_{TE} \geq 30$  bzw.  $E_{TE+1}/E_{TE} \geq 30$ . Für die TM - Wellen ist die Beugungseffizienz  $E_{TM}$  in allen Beugungsordnungen um wenigstens eine Grössenordnung

5 kleiner als die Beugungseffizienz  $E_{TM0}$  in der nullten Ordnung ( $E_{TM0}/E_{TM} \geq 10$ ), da diese binäre Gitterstruktur für die TM - Wellen als Spiegel wirkt und die TM - Wellen in die nullte Beugungsordnung reflektiert.

Die Figuren 7a bis 8c zeigen die beispielhaft aus zwei Flächenelementen 25, 26 bestehenden Flächenmuster 21. Das rechteckige Hintergrundelement 25 ist mit einer  
10 symmetrischen Gitterstruktur, z.B. mit einem sinusförmigen Profil, mit dem Profil einer symmetrischen Rechteckfunktion usw., belegt. Das dreieckige Innenelement 26 weist die binäre Gitterstruktur mit der in Figur 5b gezeigten Mesastruktur 2 (Fig. 1) auf, wobei in den Figuren 7a bis 8c die ausgezeichnete Richtung, Pfeil 19, der binären Gitterstruktur von der Spitze zur Basislinie des Innenelements 26 ausgerichtet ist. Die symmetrische  
15 Gitterstruktur des Hintergrundelements 25 weist dieselbe Periode T und dieselbe azimutale Ausrichtung wie die binäre Gitterstruktur des Innenelements 26 auf und hat eine Beugungseffizienz von wenigstens 40 % in eine der plus und minus ersten Beugungsordnungen.

Fällt unpolarisiertes Licht 22 (Fig. 6a) senkrecht auf die Strukturen des in der Figur 7a  
20 gezeigten Flächenmusters 21 ein, erblickt der Beobachter, der in die dem Pfeil 19 entgegengesetzte Richtung unter dem Beugungswinkel für die erste Beugungsordnung für die Wellenlänge  $\lambda = 435$  nm (blau) bis 550 nm (grün) schaut, im gebeugten Licht 23 (Fig. 6a) das Flächenmuster 21 als gleichmäßig hell strahlende, blaue bis grüne Fläche, da das Hintergrundelement 25 und das Innenelement 26 die fast gleiche Beugungseffizienz  
25 aufweisen. Der Kontrast an der gemeinsamen Grenze der beiden Elemente 25, 26 verschwindet daher, und das Innenelement 26 ist auf dem Hintergrundelement 25 nicht erkennbar. Nach einer Drehung um  $180^\circ$  in der Ebene des in der Figur 7a dargestellten Flächenmusters 21 hat sich das Flächenmuster 21 in der Figur 8a im unpolarisierten Licht verändert, wobei sich das Innenelement 26 als dunkle Fläche vom Hintergrundelement 25  
30 abhebt, da die binäre Gitterstruktur des Innenelements 26 in die plus erste Beugungsordnung nur Licht mit geringer Effizienz beugt. Das mit dem symmetrischen Beugungsgitter belegte Hintergrundelement 25 hingegen ist vor und nach der Drehung um  $180^\circ$  für den Beobachter in der Flächenhelligkeit unverändert.

Die Figuren 7b und 8b zeigen das Flächenelement 21 betrachtet in linear polarisiertem  
35 Licht, wobei die TM - Wellen durch das Polarisationsfilter 20 (Fig. 6a) ausgefiltert werden. In der Figur 7b erstrahlt das Innenelement 26 im ungeschwächten gebeugten Licht 23 (Fig.

- 5 6a) der minus ersten Beugungsordnung, während aus dem gebeugten Licht, das vom Hintergrundelement 25 (Fig. 6a) gebeugt wird, der Anteil der TM - Wellen eliminiert ist und die Flächenhelligkeit des Hintergrundelements 25 daher abgeschwächt ist. Nach der Drehung des Flächenelements 21 in seiner Ebene um  $180^\circ$  weist das Hintergrundelement 25 die gleiche Flächenhelligkeit wie vor der Drehung auf. Das Innenelement 26 hingegen  
 10 hat eine deutlich geringere Helligkeit als das Hintergrundelement 25, da die Intensität in der plus ersten Beugungsordnung klein ist, wie dies in Figur 8b verdeutlicht ist.

- Die Figuren 7c und 8c zeigen das Flächenelement 21 betrachtet in linear polarisiertem Licht, wobei die TE - Wellen durch das Polarisationsfilter 20 (Fig. 6a) ausgefiltert werden. Unabhängig von der Orientierung  $0^\circ$  bzw.  $180^\circ$  weist das Flächenmuster 21 im Licht der  
 15 TM - Wellen ein gleiches Aussehen auf. Das Hintergrundelement 25 hat in beiden Orientierungen die gleiche Flächenhelligkeit. Da die TE - Wellen ausgefiltert werden, ist die Flächenhelligkeit des Innenelements 26 in beiden Orientierungen etwa um einem Faktor 4 bis 6 deutlich schwächer als die des Hintergrundelements 25, da die binäre Gitterstruktur die TE - Wellen nur mit geringer Effizienz beugt.
- 20 Das Verhältnis der Flächenhelligkeiten im Flächenelement 21 der Figuren 8a bis 8c bleibt erhalten, unabhängig davon, ob das vom Beobachter wahrgenommene gebeugte Licht polarisiert ist oder nicht.

Beispiel 3:

- Die binäre Gitterstruktur der Figur 5c weist das Profil der asymmetrischen MESAstruktur 2  
 25 (Fig. 1) mit einer Periode von  $T = 2 \mu\text{m}$  auf. Das Profil der MESAstruktur 2 ist durch die Funktion  $M(x)$  als Summe der  $N = 3$  Rechteckfunktionen  $R(x)$  der Tabelle 3.

Tabelle 3

Rechteckfunktion	Impulsbreite t	Phasenverschiebung $\phi$
R1(x)	100 nm	$166\frac{1}{2}^\circ$
R2(x)	150 nm	$202^\circ$
R3(x)	670 nm	$239\frac{1}{2}^\circ$

- 5 Die Profilhöhe  $h_G$  beträgt 90 nm und die kleinste Strukturbreite beträgt 55 nm, wobei die kleinste Strukturbreite als Weite  $w = 55$  nm des Tales 4 (Fig. 1) zwischen den Rechteckfunktionen  $R2(x)$  und  $R3(x)$  der gleichen Periode  $T$  (Fig. 1) vorkommt.

Die MESAstruktur 2 nach der Figur 5c beugt das senkrecht einfallende Licht 22 (Fig. 6a) bevorzugt in die beiden ersten Beugungsordnungen. Der Anteil des in die übrigen

- 10 Beugungsordnungen gebeugten Lichts ist wesentlich geringer. Die Beugungseffizienz der MESAstruktur 2 für linear polarisierte TE - Wellen ist in der negativ ersten Beugungsordnung,  $E_{TE-1}$ , wenigstens doppelt so gross ist wie in der positiv ersten Beugungsordnung,  $E_{TE+1}$ . Hingegen ist die Beugungseffizienz der MESAstruktur 2 für linear polarisierte TM - Wellen in der positiv ersten Beugungsordnung,  $E_{TM+1}$ , wenigstens
- 15 doppelt so gross wie in der negativ ersten Beugungsordnung,  $E_{TM-1}$ . Der höhere Wert der Beugungseffizienzen in der ersten Beugungsordnung sind sowohl für die TE als auch für die TM - Wellen wenigstens 20 mal grösser als die Intensitäten des gebeugten Lichts in einer der übrigen Beugungsordnungen, wobei idealerweise  $E_{TE-1} + E_{TM-1} \approx E_{TM+1} + E_{TE+1}$  ist.

- 20 Die Figuren 9a bis 10c zeigen die beispielhaft aus zwei Flächenelementen 25, 26 bestehenden Flächenmuster 21. Wie im Beispiel 1 weisen das rechteckige Hintergrundelement 25 und das dreieckige Innenelement 26 die gleiche binäre Gitterstruktur mit Profil der MESAstruktur 2 (Fig. 1) gemäss der Figur 5c auf. In den Figuren 9a bis 10c ist die ausgezeichnete Richtung dieser binären Gitterstruktur im
- 25 Hintergrundelement 25 parallel zum Pfeil 19 und im Innenelement 26 von der Basislinie zur Spitze des Innenelements 26 ausgerichtet, d.h. die ausgezeichneten Richtungen der binären Gitterstruktur im Hintergrundelement 25 und im Innenelement 26 sind einander entgegengesetzt.

Fällt unpolarisiertes Licht 22 (Fig. 6a) senkrecht auf die Strukturen des in der Figur 9a



5     Daher verschwindet der Kontrast an der gemeinsamen Grenze 27 der beiden Elemente 25, 26 in beiden azimuthalen Orientierungen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  und das Innenelement 26 ist in der Fläche des Hintergrundelements 25 nicht erkennbar.

Die Figuren 9b und 10b zeigen das Flächenelement 21 betrachtet in linear polarisiertem Licht, wobei die TM - Wellen durch das Polarisationsfilter 20 (Fig. 6a) ausgefiltert werden.

10    In der Figur 7b erstrahlt das Innenelement 26 im ungeschwächten gebeugten Licht 23 (Fig. 6a) der minus ersten Beugungsordnung. Die Flächenhelligkeit des Hintergrundelements 25 hingegen ist um rund zwei Drittel reduziert, da nur noch die Beugungseffizienz  $E_{TE+1}$  der plus ersten Beugungsordnung wirksam ist, da durch das Polarisationsfilter 20 der Anteil der TM - Wellen eliminiert ist. Das Innenelement 26 weist somit eine grössere  
15    Flächenhelligkeit als das Hintergrundelement 25 auf. Nach der Drehung des Flächenelements 21 in seiner Ebene um  $180^\circ$  vertauschen sich die Flächenhelligkeiten des Hintergrundelements 25 und des Innenelements 26, wie dies beim Wechsel von der Figur 9b zur Figur 10b aus der Darstellung ersichtlich ist.

Die Figuren 9c und 10c zeigen das Flächenelement 21 betrachtet in linear polarisiertem  
20    Licht, wobei die TE - Wellen durch das um  $90^\circ$  in seiner Ebene gedrehte Polarisationsfilter 20 (Fig. 6a) ausgefiltert werden. Durch das Drehen des Polarisationsfilters um jeweils  $90^\circ$  vertauschen sich die Flächenhelligkeiten des Hintergrundelements 25 und des Innenelements 26, so dass die Darstellung der Figur 9b in die Darstellung der Figur 9c und Darstellung der Figur 10b in die Darstellung der Figur 10c übergeht. Auch durch das  
25    Drehen des Flächenmusters 21 in seiner Ebene in die Stellungen  $0^\circ$  und  $180^\circ$  vertauschen sich die Flächenhelligkeiten des Hintergrundelements 25 und des Innenelements 26, so dass die Darstellung der Figur 9c in die Darstellung der Figur 10c übergeht.

In einer Ausführung des Flächenelements 21 sind die Innenelemente 26 als  
alphanumerische Zeichen z.B. eines Textes oder als Barcode ausgebildet, die im  
30    polarisierten Licht auf dem Hintergrundelement 25 sichtbar sind, im üblichen unpolarisierten Tageslicht jedoch nicht erkennbar sind.

Die Beugungsstrukturen, die in den Figuren 7a bis 10c dargestellten Kombinationen verwendet sind, lassen sich im Flächenmuster 21 von der Ausrichtung zum Beobachter und der Polarisation abhängige Muster erzeugen, bei denen der Kontrast an gemeinsamen  
35    Grenzen 27 (Fig. 6b) auffällig ist bzw. verschwindet.

- 5 In einer Ausführung der Figur 6b ist im Flächenmuster 21 wenigstens ein Flächenelement 25 mit einer binären Gitterstruktur im Mosaik der Flächenelemente 26, 28, 29, 30 so angeordnet, dass in einer vorbestimmten Beugungsordnung wenigstens in einer Azimutrichtung  $\varphi$  die Summe der Beugungseffizienzen,  $E_{TE} + E_{TM}$ , für TE - und TM - Wellen des Flächenelements 25 im wesentlichen gleich der Summe der
- 10 Beugungseffizienzen,  $E_{TE} + E_{TM}$ , für TE - und TM - Wellen des an das Flächenelement 25 angrenzenden Flächenelements 26 ist, so dass unter dem vorbestimmten Beugungswinkel die Farbe und die Flächenhelligkeiten der beleuchteten Flächenelemente 25, 26 gleich sind und der Kontrast an der gemeinsamen Grenze 27 der beiden Flächenelemente 25, 26 verschwindet. Dieses kennzeichnende Verhalten des Flächenmusters 21 ist ein
- 15 Echtheitsmerkmal für Sicherheitselemente, das typischerweise bei holographischen Kopien fehlt. Die Kopien sind daher als solche erkennbar.

Wie am Beispiel der Figur 6a gezeigt ist, umfasst das Flächenmuster 21 nur der Einfachheit halber die beiden Elemente 25, 26. In einer praktischen Ausführung umfasst das Flächenmuster 21 gemäss Figur 6b eine grosse Anzahl von weiteren Flächenelementen

20 28 bis 30, die zur Erzeugung des gewünschten Flächenmusters 21 neben den obengenannten Beugungsstrukturen irgendwelche Beugungsstrukturen, spiegelnde bzw. streuende Strukturen oder absorbierende Oberflächen aufweisen.

- In der Figur 11 ist das Flächenmuster 21 mit den beiden Flächenteilen 25, 26 gezeigt. Beispielsweise weist das binäre Gitter des Flächenelements 25 die höhere
- 25 Beugungseffizienz als das Flächenelement 26 auf. Damit der Kontrast an der gemeinsamen Grenze 27 zwischen den Flächenteilen 25, 26 des Flächenmusters 21 in den oben beschriebenen Beispielen 2 und 3 unter vorbestimmten Beobachtungsbedingungen optimal verschwindet, müssen die Flächenhelligkeiten beider Flächenteile 25, 26 aufeinander exakt abgestimmt werden. Dazu wird mit Vorteil wenigstens der Flächenanteil des binären
- 30 Gitters mit der höheren Beugungseffizienz, hier innerhalb des Flächenelements 25, verringert, um so die Flächenhelligkeit des Flächenelements 25 abzuschwächen und dem anderen, lichtschwächeren Flächenelement 26 optimal anzupassen. Eine Verkleinerung des Flächenanteils der Gitterstruktur im Flächenelement 25 erfolgt durch ein wenigstens längs der gemeinsamen Grenze 27 regelmässiges Linien - oder Punktraster von kleinsten
- 35 Rasterflächen 31. Die Rasterflächen 31 sind z.B. mit Beugungsstrukturen belegt, die ihr gebeugtes Licht in eine andere Richtung als die Gitter der Flächenelemente 25 und 26

5 ablenken. Nicht alle der Rasterflächen 31 innerhalb des Flächenelements 25 bzw. 26 müssen dieselbe optische Aktivität aufweisen. Die Rasterflächen 31 weisen je nach Erfordernis des Flächenmusters 21 anstelle der Beugungsaktivität auch andere optische Aktivitäten auf, wie sie durch streuende Strukturen oder absorbierende oder spiegelnde Flächen erzeugt werden. Die Dichte und der Anteil der Rasterflächen 31 entspricht der  
10 erforderlichen Schwächung der Flächenhelligkeit des Flächenelements 25, da die Gesamtheit der Rasterflächen 31 zu der über das Flächenelement 25 gemittelten Beugungseffizienz der binären Gitterstruktur nichts beitragen. Die gemittelten Beugungseffizienz ist daher kleiner. Wenigstens eine Abmessung der Rasterflächen 31 ist mit Vorteil kleiner als 0.3 mm, damit das menschliche Auge den Raster unter normalen  
15 Sichtbedingungen nicht bemerkt. Es ist nochmals anzumerken, dass der Raster in den Darstellungen der Figuren 6a bis 10c nur zur Unterscheidung der Flächenhelligkeiten mit zeichnerischen Mitteln dient.

In einer Ausführung sind die Strukturen der Rasterflächen 31 die eines eine Information enthaltenden Kinoforms oder Fourierhologramms. Nur bei einer monochromatischen  
20 Beleuchtung des diese Rasterflächen 31 aufweisenden Flächenelements 25 kann die Information auf einem Schirm sichtbar gemacht und gelesen werden.

Die Beugungsstrukturen vom Typ der oben beschriebenen Mesastrukturen 2 (Fig. 1) weisen den Vorteil auf, dass sie sich mit den bekannten holographischen Mitteln nicht kopieren lassen.

25 Die Figur 12 zeigt eine Gitterstruktur über der Ebene  $x/y$ , die durch eine binäre Gitterfunktion  $G$  aus zwei einander überlagerten Rechteckfunktionen  $M(x)$  und  $M(y)$  bestimmt ist, deren Täler 4 (Fig. 1) sich unter einem Kreuzungswinkel  $\theta$  schneiden. Die Perioden  $T$  der beiden Rechteckfunktionen  $M(x)$  und  $M(y)$  sind nicht notwendigerweise gleich. Die beiden Rechteckfunktionen  $M(x)$  und  $M(y)$  dehnen sich unabhängig  
30 voneinander längs der Abszisse  $x$  bzw.  $y$  aus. In einer Ausführung erstreckt sich beispielsweise in Richtung der Abszisse  $x$  die Rechteckstruktur  $M(x)$  bzw.  $M(y)$  in das an das Flächenelement 25 mit der Gitterstruktur  $G$  angrenzende Flächenelement 26 (Fig. 6a), das demzufolge mit der Rechteckstruktur  $M(x)$  bzw.  $M(y)$  belegt ist. Die die Täler 4 verfüllende Lackschicht 10 (Fig. 2a) und weitere Schichten ist aus zeichnerischen Gründen  
35 weggelassen worden. Der Beobachter erblickt auf dem beleuchteten Flächenmuster 21 (Fig. 6a) unter dem vorbestimmten Beugungswinkel die Muster mit den

- 5 Kontrastunterschieden unter den Azimutwinkeln  $\varphi$  mit den Werten  $0^\circ$ ,  $\theta^\circ$ ,  $180^\circ$  und  $180^\circ + \theta^\circ$ , wobei die ausgezeichnete, durch den Pfeil 19 (Fig. 1) angegebene Richtung den Azimutwinkel  $0^\circ$  und  $\theta$  den Kreuzungswinkel der beiden Funktionen  $M(x)$  und  $M(y)$  bzw. Koordinaten  $x$ ,  $y$  bezeichnet. Aus technischen Gründen ist der Bereich der Werte für den Kreuzungswinkel  $\theta$  auf den Bereich  $30^\circ$  bis  $150^\circ$  beschränkt.

P a t e n t a n s p r ü c h e:

- 10 1. Lichtbeugende binäre Gitterstruktur mit einer mikroskopischen Mesastruktur (2) aus durch im wesentlichen rechteckförmige Täler (4) getrennten Hochebenen (5), wobei die sich periodisch wiederholende Anordnung der Täler (4) innerhalb einer Periode (T) der Mesastruktur (2) eine additive Überlagerung von wenigstens drei phasenverschobenen Rechteckstrukturen (R) mit einer
- 15 Impulsbreite ( $t_1$ ;  $t_2$ ;  $t_3$ ; ...) der Periode (T) der Mesastruktur (2) ist, wobei die Rechteckstrukturen (R) gegeneinander eine Phasenverschiebung ( $\phi_1$ ;  $\phi_2$ ;  $\phi_3$ ; ...) derart aufweisen, dass die Hochebenen (5) der einen Rechteckstruktur (R) in die Täler der andern Rechteckstrukturen (R) fallen und dass wenigstens ein Tal (4) zwischen zwei Hochebenen (5) eine Breite grösser als ein Siebtel
- 20 der Periode (T) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Mesastruktur (2) eine optisch wirksame Profilhöhe (h) mit einem Wert aus dem Bereich 25 nm bis 5000 nm besitzt, dass eine Grenzfläche (14) der Mesastruktur (2) für sichtbares einfallendes
- 25 Licht (22) einer Wellenlänge ( $\lambda$ ) metallisch reflektierend ausgebildet ist und dass die Periode (T) der Mesastruktur (2) einen Wert im Bereich 250 nm bis 5000 nm aufweist.
2. Gitterstruktur nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Grenzfläche (14) der Mesastruktur (2) als Reflexionsschicht (11) ausgebildet und zwischen
- 30 einer Lackschicht (10) und einer Schutzschicht (13) angeordnet ist.
3. Gitterstruktur nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Mesastruktur (2) in eine Metalloberfläche abgeformt und optional mit einer die Täler (4) verfüllenden Schutzschicht (16) ausgerüstet ist.

- 5 4. Gitterstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die kleinste Strukturbreite der MESAstruktur (2) weniger als ein Fünftel der Wellenlänge ( $\lambda$ ) des einfallenden Lichts (22) ist.
5. Gitterstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Periode (T) der MESAstruktur (2) in einer Richtung parallel zu den  
10 Tälern (4) so ändert, dass die Täler (4) divergieren oder mäandern.
6. Gitterstruktur nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Verteilung der Hochebenen (5) innerhalb einer Periode (T) der MESAstruktur (2) asymmetrisch ist, wobei in der einen Halbperiode die Summe der Impulsbreiten ( $t_1; t_2; t_3 \dots$ ) aller Hochebenen (5) kleiner als die Summe der  
15 Impulsbreiten ( $t_1; t_2; t_3 \dots$ ) aller Hochebenen (5) in der andern Halbperiode ist und dass die Parameter Impulsbreite ( $t_1; t_2; t_3; \dots$ ), Anzahl N der Rechteckstrukturen (R) und deren Phasenverschiebung ( $\phi_1; \phi_2; \phi_3; \dots$ ) derart vorbestimmt sind, dass die MESAstruktur (2) für das einfallende Licht (22) asymmetrische Beugungseffizienzen (E) für die verschiedenen  
20 Beugungsordnungen aufweist.
7. Gitterstruktur nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die asymmetrische Verteilung der Hochebenen (5) innerhalb einer Periode (T) der MESAstruktur (2) derart ausgebildet ist, dass sowohl TE polarisierte Wellen des Lichts (22) als auch TM polarisierte Wellen des Lichts (22) asymmetrisch in  
25 eine einzige, vorbestimmte negative oder positive Beugungsordnung abgelenkt sind.
8. Gitterstruktur nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die asymmetrische Verteilung der Hochebenen (5) innerhalb einer Periode (T) der MESAstruktur (2) derart ausgebildet ist, dass im wesentlichen nur für TE  
30 polarisierte Wellen des Lichts (22) die Beugungseffizienz ( $E_{TE}$ ) in der einzigen, vorbestimmten negativen oder positiven Beugungsordnung grösser als in den andern Beugungsordnungen ist, und dass für TM polarisierte Wellen des Lichts (22) die MESAstruktur (2) als Spiegel wirkt.
9. Gitterstruktur nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die  
35 asymmetrische Verteilung der Hochebenen (5) innerhalb einer Periode (T) der

5 MESAstruktur (2) derart ausgebildet ist, dass für TE polarisierte Wellen des  
Lichts (22) die in der negativen Beugungsordnung einer vorbestimmten  
Ordnung feststellbare Beugungseffizienz ( $E_{-TE}$ ) wenigstens doppelt so gross ist  
wie die Beugungseffizienz ( $E_{+TE}$ ) in der positiven Beugungsordnung der  
gleichen Ordnung, und dass für TM polarisierte Wellen des Lichts (22) die in  
10 der gleichen vorbestimmten Ordnung messbare Beugungseffizienz ( $E_{+TM}$ ) in  
der positiven Beugungsordnung wenigstens doppelt so gross ist wie die  
Beugungseffizienz  
( $E_{-TM}$ ) in der negativen Beugungsordnung.

10. Sicherheitselement mit einem in ein Laminat aus transparentem Kunststoff

15 eingebetteten Flächenmuster, das eine mosaikartige Anordnung von mit  
mikroskopisch feinen Gitterstrukturen belegten Flächenelementen (25, 26; 28;  
29; 30), die einfallendes Licht (22) mit einer Wellenlänge ( $\lambda$ ) beugen, streuen  
oder spiegeln aufweist, wobei die optische Wirksamkeit der Gitterstrukturen mit  
einer metallischen Reflexionsschicht (11) verstärkt ist,

20 dadurch gekennzeichnet,

dass wenigstens in einem ersten der Flächenelemente (25, 26; 28; 29; 30) eine  
binäre Gitterstruktur angeordnet ist, die eine aus durch im wesentlichen  
rechteckförmige Täler (4) getrennten Hochebenen (5) mit einer Impulsbreite ( $t$ )  
bestehende MESAstruktur (2) ist, dass die periodisch sich wiederholende  
25 Anordnung der Täler (4) innerhalb einer Periode ( $T$ ) der MESAstruktur (2) eine  
additive Überlagerung von wenigstens drei phasenverschobenen  
Rechteckstrukturen ( $R$ ) mit der Periode ( $T$ ) ist, wobei die Rechteckstrukturen  
( $R$ ) gegeneinander eine Phasenverschiebung ( $\phi_1; \phi_2; \phi_3; \dots$ ) derart aufweisen,  
dass die Hochebenen (5) der einen Rechteckstruktur ( $R$ ) in die Täler der  
30 andern Rechteckstrukturen ( $R$ ) fallen, und dass wenigstens ein Tal (4)  
zwischen zwei Hochebenen (5) eine Breite grösser als ein Siebtel der Periode  
( $T$ ) aufweist,

dass die MESAstruktur (2) in den dem einfallenden Licht (22) zugewandten  
Tälern (4) eine optisch wirksame Profilhöhe ( $h$ ) mit einem Wert aus dem  
35 Bereich 25 nm bis 5000 nm aufweist und dass die Periode ( $T$ ) der  
MESAstruktur (2) einen Wert im Bereich 250 nm bis 5000 nm aufweist.

- 5 11. Sicherheitselement nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die  
Mesastruktur (2) fünf innerhalb der Periode (T) asymmetrisch verteilte  
Hochebenen (5) mit Impulsbreiten (t) kleiner als ein Fünftel der Wellenlängen  
( $\lambda$ ) aufweist, und dass die Beugungseffizienz der Mesastruktur (2) sowohl für  
10 TE polarisierte Wellen des Lichts (22) als auch für TM polarisierte Wellen des  
Lichts (22) in die minus erste Beugungsordnung wenigstens um einen Faktor 5  
grösser ist als die Beugungseffizienz in einer der übrigen Beugungsordnungen.
12. Sicherheitselement nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die  
Mesastruktur (2) fünf innerhalb der Periode (T) asymmetrisch verteilte  
Hochebenen (5) aufweist,  
15 dass innerhalb der Periode bei vier der Hochebenen (5) die Impulsbreiten (t)  
kleiner als ein Fünftel der Wellenlängen ( $\lambda$ ) des sichtbaren einfallenden Lichts  
(22) sind und die Impulsbreite (t) der fünften Hochebene (5) grösser als die  
Summer der vier andern Impulsbreiten (t) ist,  
dass für das senkrecht einfallende Licht (22) die Beugungseffizienz der  
20 Mesastruktur (2) für TE polarisierte Wellen des Lichts (22) in die minus erste  
Beugungsordnung wenigstens dreissigmal grösser ist als die  
Beugungseffizienz für die TE polarisierten Wellen in einer der übrigen  
Beugungsordnungen und dass für TM polarisierte Wellen des Lichts (22) die  
Mesastruktur (2) als Spiegel wirkt.
- 25 13. Sicherheitselement nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die  
Mesastruktur (2) drei innerhalb der Periode (T) asymmetrisch verteilte  
Hochebenen (5) aufweist,  
dass innerhalb der Periode (T) bei zwei der Hochebenen (5) die Impulsbreiten  
(t) kleiner als ein Fünftel der Wellenlängen ( $\lambda$ ) des einfallenden Lichts (22) sind  
30 und die Impulsbreite (t) der dritten Hochebene (5) grösser als die Summe der  
zwei andern Impulsbreiten (t) ist,  
dass beim senkrecht einfallenden Licht (22) die Beugungseffizienz der  
Mesastruktur (2) für die minus erste Beugungsordnung bei TE polarisierten  
Wellen des einfallenden Lichts (22) wenigstens zweimal grösser ist als für TM  
35 polarisierte Wellen des einfallenden Lichts (22), dass die Beugungseffizienz für  
die plus erste Beugungsordnung bei den TM polarisierten Wellen wenigstens

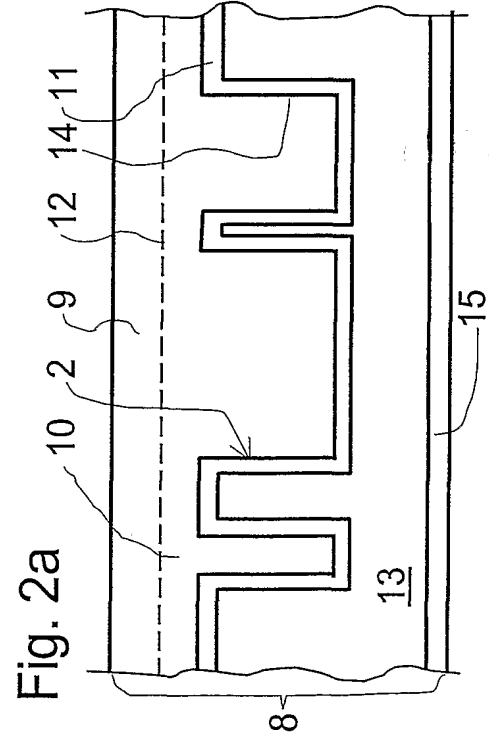
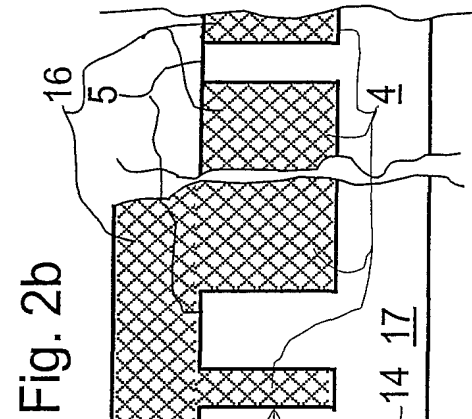
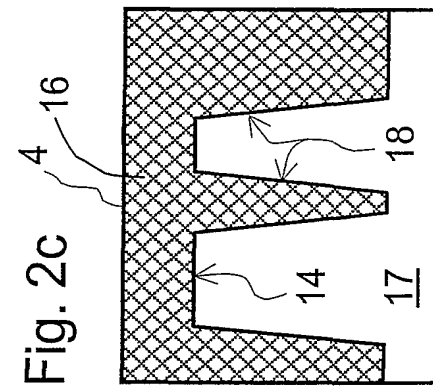
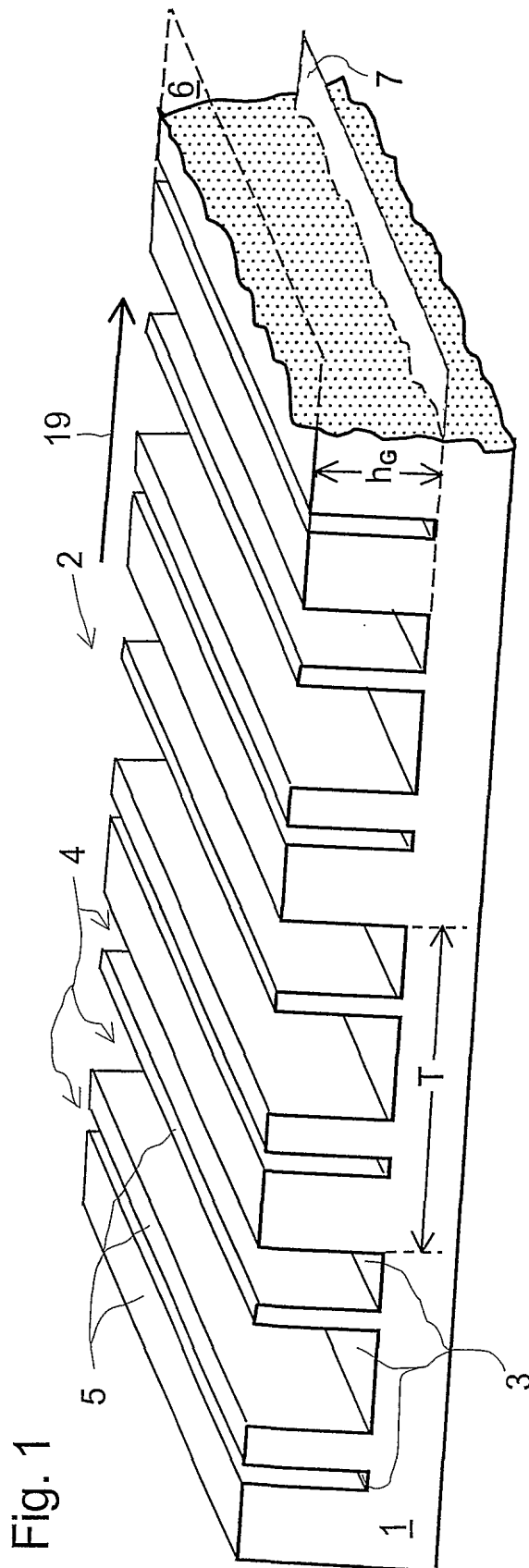


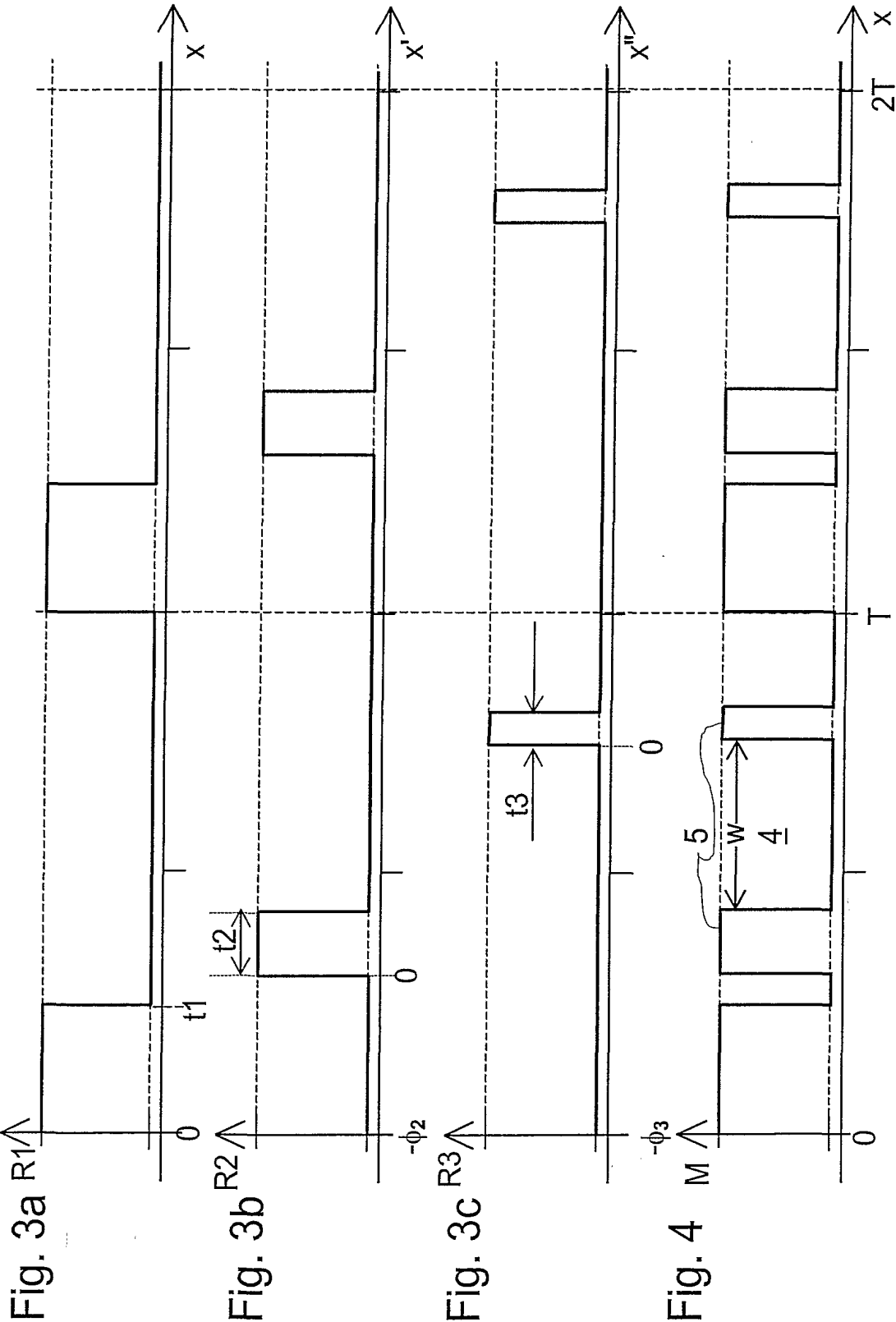
5        zweimal grösser ist als für die TE polarisierten Wellen, und  
dass eine Summe der Beugungseffizienzen der TE und der TM polarisierten  
Wellen in der plus ersten Beugungsordnung im wesentlichen gleich gross wie  
eine Summe der Beugungseffizienzen der TE und der TM polarisierten Wellen  
in der minus ersten Beugungsordnung ist.

10    14. Sicherheitselement nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch  
gekennzeichnet, dass ein zweites, an das Flächenelement (25) mit der  
Mesastruktur (2) angrenzendes Flächenelement (26) mit einem symmetrischen  
Beugungsgitter belegt ist, und dass die Mesastruktur (2) und das symmetrische  
Beugungsgitter die gleiche Periode (T) und die gleiche azimutale Ausrichtung  
15    der Gitterstruktur aufweisen.

15. Sicherheitselement nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch  
gekennzeichnet, dass ein zweites, an das Flächenelement (25) mit der  
Mesastruktur (2) angrenzendes Flächenelement (26) mit der gleichen  
Mesastruktur (2) belegt ist, und dass sich die beiden Mesastrukturen (2) in der  
20    ausgezeichneten Richtung (19) der binären Gitterstruktur unterscheiden.

16. Sicherheitselement nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass  
Flächenhelligkeiten der aneinander grenzenden Flächenelemente (25, 26) so  
abgeglichen sind, dass die Flächenhelligkeit des ersten Flächenelementes (25)  
dem lichtschwächeren zweiten Flächenelement (26) angeglichen ist, wobei im  
25    ersten Flächenelement (25) der Anteil der Gitterstruktur durch eine  
rasterförmige Anordnung von Licht (22) ablenkenden Rasterelementen (31)  
verkleinert ist, die Abmessungen kleiner als 0,3 mm aufweisen.





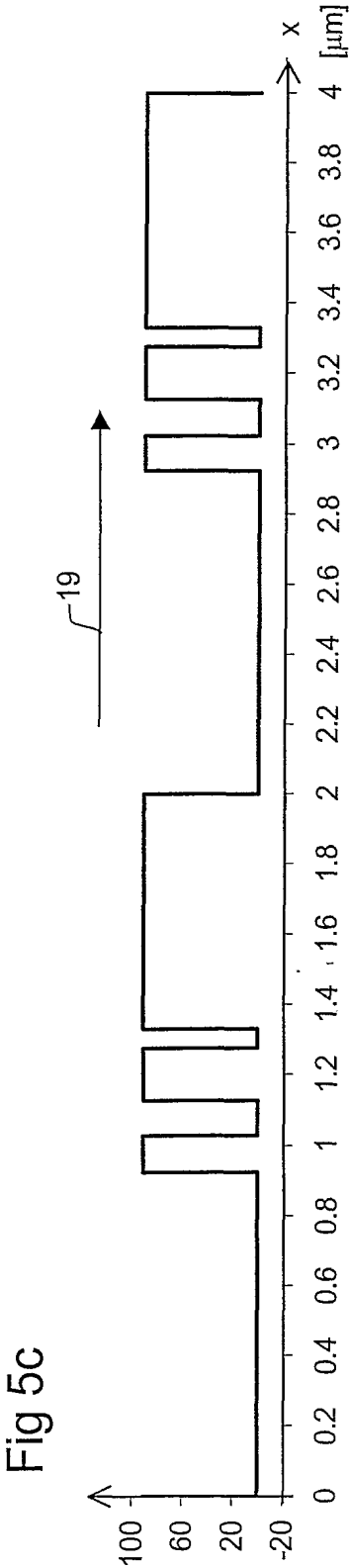
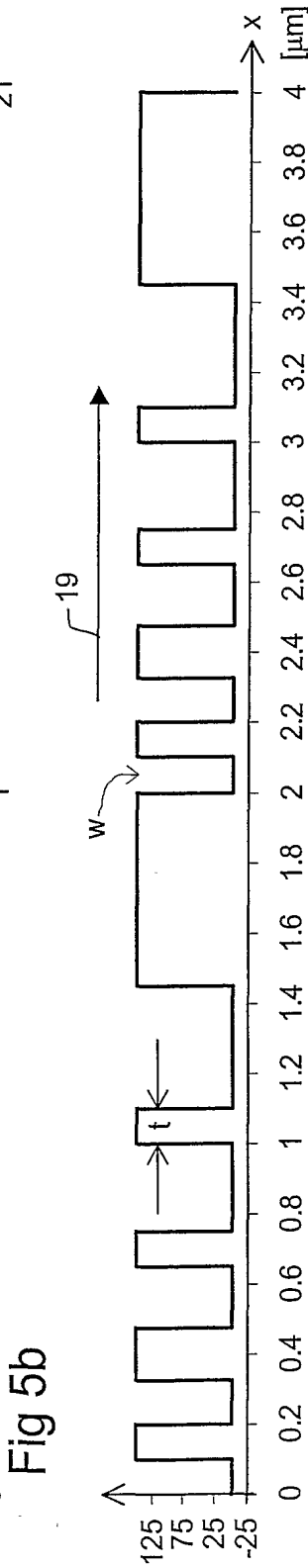
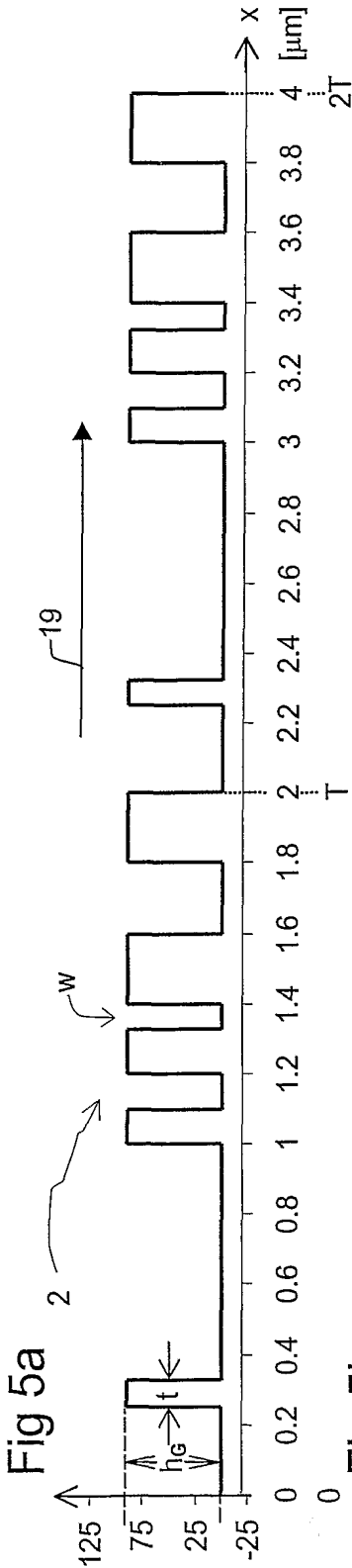


Fig 6a

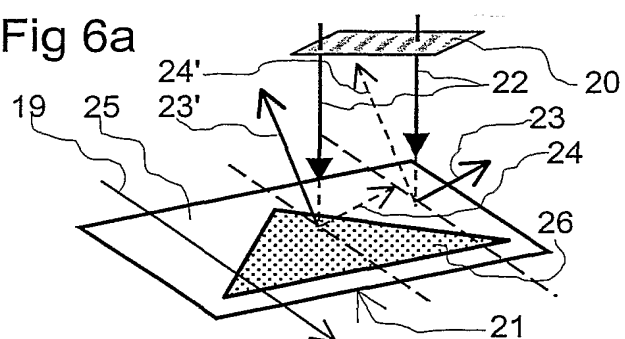


Fig. 6b

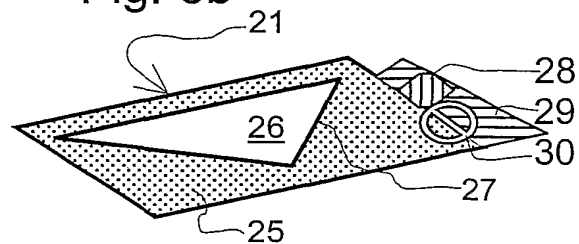


Fig. 7a

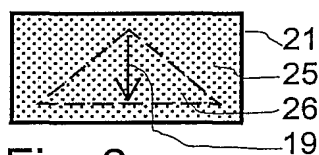


Fig. 7b

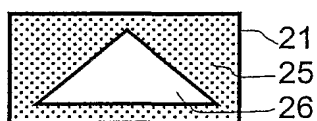


Fig. 7c

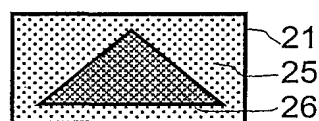


Fig. 8a

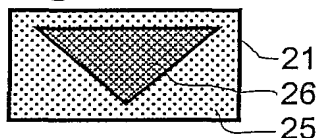


Fig. 8b

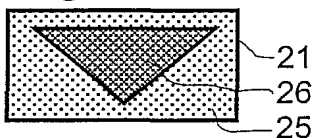


Fig. 8c

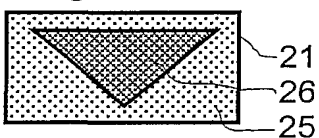


Fig. 9a

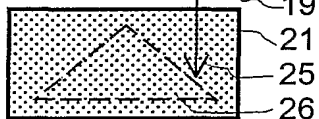


Fig. 9b

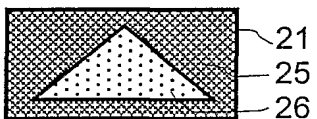


Fig. 9c

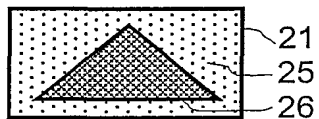


Fig. 10a

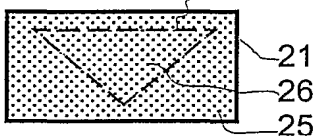


Fig. 10b

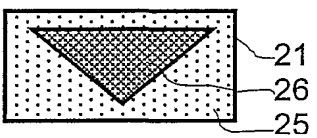


Fig. 10c

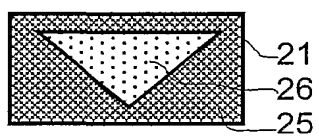


Fig. 11

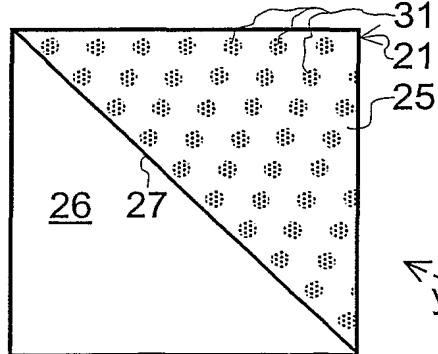


Fig. 12

